

# Upotreba senzora u proizvodnji

---

Vinko, Miran

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:919029>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 189/PS/2016**

**Senzori u proizvodnji**

**Miran Vinko, 3333/601**

Varaždin, prosinac 2016. godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za Proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 189/PS/2016**

**Senzori u proizvodnji**

**Student**

Miran Vinko, 3333/601

**Mentor**

Zlatko Botak, mr. sc.

Varaždin, prosinac 2016. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za proizvodno strojarstvo		
PRISTUPNIK	Miran Vinko	MATIČNI BROJ	3333/601
DATUM	14.09.2016.	KOLEGIJ	Tehnologija I
NASLOV RADA	Upotreba senzora u proizvodnji		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Sensors usage in the production		
MENTOR	mr. sc. Zlatko Botak	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Marko Horvat, dipl.ing., predavač		
	2. mr. sc. Zlatko Botak viši predavač		
	3. Veljko Kondić, mag. ing. mech., predavač		
	4. _____		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ 189/PS/2016

OPIS

Mjerenje različitih procesnih veličina u toku proizvodnje važno je zbog dobivanja realnih informacija o proizvodnom procesu i mogućnosti pravovremenog reagiranja na pojavu različitih smetnji. Mjerene informacije se, zbog kasnije lakše obrade i analize, najčešće pretvaraju u električni signal. Porastom automatizacije proizvodnih sustava narasla je i potreba za uređajima koji trenutačno prikupljaju i prenose informacije iz proizvodnog procesa, te omogućuju korektivne radnje kako bi se proizvodni proces održao unutar dozvoljenih vrijednosti.

U radu je potrebno:

- Opisati općenito najvažnije karakteristike senzora.
- Navesti koje se vrste senzora koriste u industriji i opisati princip njihovog rada.
- Opisati osnovne karakteristike i najznačajnije predstavnike senzora za udaljenosti.
- Opisati princip rada senzora za mjerenje sile i momenta.
- Opisati princip rada i osnovne karakteristike taktilnih senzora.
- Opisati princip rada i osnovne karakteristike ultrazvučnih senzora.

ZADATAK URUČEN 20.09.2016. POTPIS MENTORA Botak



## **Zahvala**

Veliku zahvalnost, u prvom redu dugujem svome mentoru prof. Zlatku Botaku koji mi je omogućio sve potrebno za pisanje rada, pomogao sa svojim savjetima i imao strpljenja i vremena za moje upite.

Zahvaljujem se svim prijateljima i kolegama koji su bili uz mene za vrijeme studiranja. Bez njih ne bi bilo isto.

Naravno, zahvaljujem se i cijeloj obitelji koja me uvijek podržavala i motivirala.

Velika zahvala također i mojoj supruzi te maloj kćerkici bez kojih to sve ne bi imalo takvoga smisla. One su bile kotačić koji me pokretao kada nije bilo snage i volje.

I na kraju, iznimna zahvalnost mojim roditeljima koji su me podržavali u svim danima studiranja, bili tu u lijepim ali i teškim trenucima. Bez njih to sve ne bi bilo moguće.

Velika HVALA svima.

## **Sažetak**

U radu ću se baviti temom vezanu na senzore u proizvodnji. Porastom automatizacije došlo je do sve veće potrebe za sensorima bez kojih automatizirani sustavi ne bi bili mogući. Senzore dakako koristimo i u svakodnevnom životu. Razlikuju se po vrsti senzora, njihovim karakteristikama, upotrebi, namjeni i sl.

Ključne riječi:

- Vrste senzora
- Karakteristike senzora
- Upotreba senzora

## **Summary**

In this paper I will discuss the topic of sensors in production. With increasing automation , the increased need for the sensors, without which automated systems would not be possible, occurred. Sensors, of course, are used in everyday life. They differ in type, their characteristics, use, purpose etc.

Keywords:

- types of sensors,
- characteristics of sensors,
- use of sensors

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Karakteristike i raznolikosti senzora .....	3
3. Senzori blizine.....	6
3.1 Elektromehanički senzori blizine .....	8
3.2 Elektromagnetski senzori .....	9
3.3 Kapacitivni senzori blizine.....	11
3.4 Ultrazvučni senzori blizine.....	13
3.5 Optoelektronski senzori blizine.....	16
4. Senzori sile i momenta .....	19
5. Taktilni senzori.....	24
6. Ultrazvučna percepcija senzora.....	28
7. Zaključak.....	35
8. Literatura .....	36
8.1 Popis slika .....	38



# 1. Uvod

Mjerenje ima značajno mjesto kod industrijskih procesa, jer daje kvantitativne informacije o procesu, odnosno objektu kojim se upravlja. Mjerne informacije najčešće imaju formu električnog signala. Razlog za pretvaranje mjerne informacije u formu električnog signala je što su usavršeni pojačanje, obrada, prijenos i očitavanje električnog signala, uz istovremeno postizanje visoke metrološke kvalitete statičkih i dinamičkih karakteristika.

Mjerenje mehaničkih, kemijskih, bioloških i procesnih veličina provodi se pomoću raznih prijemnika, mjernih pretvarača itd. Termin senzor postao je općeprihvaćen kada se govori o različitim prijemnicima u industriji. To je uostalom, bilo i za očekivati razvojem materijala i tehnologija, integracijom komponenti i primjenom mikromehanike i mikroelektronike.

Senzor predstavlja uređaj koji pretvara mjerenu fizičku veličinu uglavnom u električni signal. Senzori se najčešće odlikuju malim dimenzijama, izuzetnim tehničkim karakteristikama i sposobnošću obrade signala. Koriste se za provjeru rada, procjenu stanja rada i nadzor procesa, pa se mogu koristiti prije, u toku i poslije procesnih operacija. Informacije koje se dobivaju putem senzora omogućavaju generiranje korektivnih postupaka, pomoću kojih se rezultati procesa drže u granicama dozvoljenih odstupanja.

Porast automatizacije kompleksnih proizvodnih sustava iziskuje primjenu komponenti koje imaju mogućnost prikupljanja i prijenosa informacija, a ključne su za proizvodni proces. Senzori ispunjavaju ovu zadaću i u posljednjih nekoliko godina postaju iznimno značajni u mjerenju, upravljanju i regulaciji. Senzori tako omogućuju informaciju o pojedinoj varijabli procesa. Oni su tehnički pretvornici koji pretvaraju neku fizikalnu veličinu u električni, digitalni ili analogni signal, koji se lako obrađuje.

U skladu s povećanim interesom za primjenu senzora u industriji, ciljevi završnog rada su:

odrediti područja aktivnosti senzora u industriji

istražiti metode detekcije signala u industrijskim okruženjima

upoznati važne karakteristike senzora

analizirati određene kategorije senzora primjenjive u industriji

istražiti njihove prednosti i nedostatke.

**Hipoteze** su sljedeće:

**H1** - senzori su svojevrsni promatrači koji nadgledaju proces, dojavljujući pogreške i promjene statusa, te prosljeđuju te informacije ostalim uređajima u procesu. Pokrivaju šira

područja aktivnosti koja im pružaju mogućnost identificiranja objekata i aktivnosti iz okoline, koje nadilaze mogućnosti ljudskih osjetila.

**H2** - ovisno o procesu i veličini koju je potrebno regulirati, definira se zadaća koju senzor treba ispunjavati. Nakon utvrđivanja veličine koju treba mjeriti, potrebno je definirati senzorski (pod)sustav koji će tu veličinu uspješno pretvoriti u njoj proporcionalnu (uglavnom električnu) veličinu tj. izlazni signal. Različite su (pod)skupine senzora, na čiji je razvitak i funkcioniranje utjecala tehnologija, ali i potreba za preciznošću strojeva u industriji.

U ovome radu korištene su sljedeće metode istraživanja:

metoda indukcije – na temelju pojedinačnih ili posebnih činjenica dolazi se do zaključka o općem sudu. Prilikom pisanja ovog rada indukcija će se koristiti za donošenje zaključaka na temelju prikupljenih podataka i literature;

metoda dedukcije - iz općih stavova izvode se posebni i pojedinačni zaključci. Dedukcija uvijek pretpostavlja poznavanje općih znanja na temelju kojih se spoznaje ono posebno ili pojedinačno;

metoda analize i sinteze - analiza je raščlanjivanje složenih pojmova, sudova i zaključaka na njihove jednostavnije sastavne dijelove te izučavanje svakog dijela za sebe i u odnosu na druge dijelove. Sinteza je postupak znanstvenog istraživanja putem spajanja dijelova ili elemenata u cjelinu, sastavljanja jednostavnih misaonih tvorevina u složene i složenih u još složenije;

metoda dokazivanja – misaono sadržajni postupak kojim se utvrđuje istinitost pojedinih spoznaja, stavova ili teorija. Ovom metodom će se služiti u dokazivanju (ne)točnosti postavljene istraživačke hipoteze;

metoda deskripcije – postupak opisivanja činjenica te empirijsko potvrđivanje njihovih odnosa;

metoda komparacije - način uspoređivanja istih ili srodnih činjenica, tj. utvrđivanje.

## 2. Karakteristike i raznolikosti senzora

Glavne odlike senzora su [6]:

**osjetljivost** - predstavlja vrijednost promjene izlazne veličine pri promjeni izmjerene vrijednosti, npr. u električnom mjernom instrumentu. Ako se na pomak od 0,1 mm na izlazu stvara promjena napona od 0,1 V, tada je osjetljivost senzora 1 V/mm. Senzori, koji služe za mjerenje malih promjena, moraju imati veliku osjetljivost;

**linearnost** - idealni senzori projektirani su da budu linearni, tj. izlazni signal senzora linearno je proporcionalan vrijednosti izmjerene karakteristike. Ipak, linearnost se teško postiže i devijacije od idealnog nazivaju se linearne tolerancije. Linearnost se izražava kao postotak odstupanja od linearne vrijednosti, tj. maksimalno odstupanje izlazne krivine u odnosu na liniju koja najbolje odgovara jednom kalibracijskom ciklusu, ona je povezana sa točnošću senzora,

**preciznost** - obično se određuje pomoću apsolutne i relativne greške. Pod apsolutnom greškom podrazumijeva se razlika između stvarne vrijednosti mjerene veličine i rezultata mjerenja (izlazne vrijednosti senzora). Pod relativnom greškom podrazumijeva se odnos apsolutne greške prema stvarnoj vrijednosti. Relativna greška često se izražava u postocima;

**rezolucija signala** - predstavlja najmanju promjenu vrijednosti koju senzor može prepoznati u mjerenoj količini. Rezolucija je povezana sa preciznošću mjerenja i ona predstavlja sposobnost senzora da reproducira određeni set očitavanja u okviru date točnosti.

Vrste senzora koji se koriste u industriji mogu se podijeliti na:

*termalne*: temperaturni (termometri, termostati, i dr.), i toplinski senzori (kalorimetar),

*elektromagnetne*: senzor električne otpornosti, senzor električne struje, senzor električnog napona, senzor električne snage, senzor magnetizma, detektori metala, radari,

*mehaničke*: za pritisak (barometar), za protok plina i tečnosti, za viskoznost i gustoću, aktivirani mehaničkom silom, prekidači, za vlažnost,

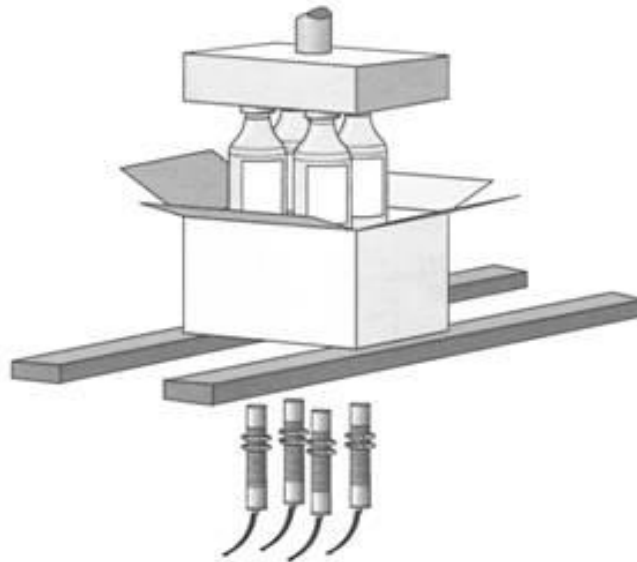
*kemijske senzore*: senzori kisika, detektori ugljik - monoksida, pH vrijednosti i dr.,

*optičke*: fotodetektor, infracrveni senzor i dr.,

*akustične*: ultrazvučni i dr.,

*drugi tipovi*, kao što su: senzori pokreta, senzori orijentacije.

**Kapacitivni senzori** [6] su bezkontaktni uređaji koji imaju veliku rezoluciju signala. Imaju sposobnost mjerenja položaja, ili promjene položaja bilo kojeg predmeta koji ima kapacitivnost. Kapacitivni senzori sastoje se od elektronskog modula i sonde koja je povezana žičanim putem na elektronski modul (slika 2.1);



*Slika 2.1 Kapacitivni senzori*

**Kapacitivni senzori** koriste osobinu kapacitivnosti za utvrđivanje promjenjivih vrijednosti. Kapacitivnost je osobina (pojava) koja postoji između bilo koje dvije površine na bliskoj udaljenosti, koje imaju provodnost. Promjena razmaka između površina utječe na promjenu kapacitivnosti. Ovu promjenu kapacitivni senzori koriste za identifikaciju promjene položaja predmeta. Senzori velike osjetljivosti imaju male površine, tako da ih je potrebno postaviti na maloj udaljenosti u odnosu na predmet kojeg je nužno detektirati (0.25 mm - 2mm) [7].

Prednosti kapacitivnih senzora su [6]:

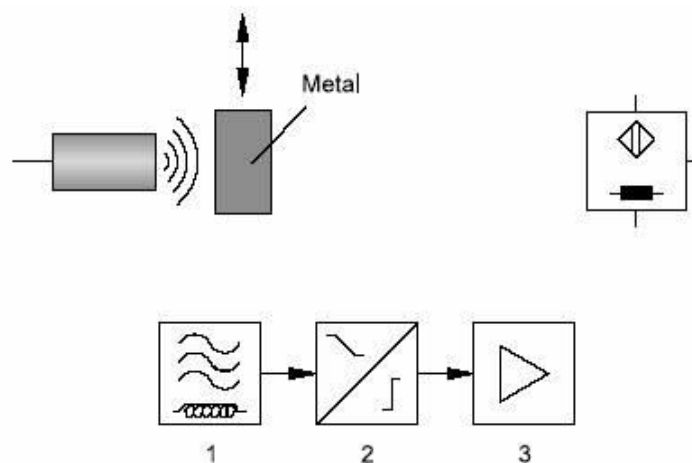
- točno i automatsko detektiranje položaja,
- bezkontaktno detektiranje objekata tj. kod elektronskih senzora nema kontakta između senzora i objekta,
- nema proizvodnje lažnih impulsa,
- otporni su na trošenje jer nemaju pokretnih dijelova,
- neograničen broj korištenja,

pogodni za opasne okoline (npr. za područja u kojima postoji opasnost od eksplozija).

Osnovni nedostatak kapacitivnih senzora je taj što nije pouzdano korištenje u prljavim i vlažnim sredinama.

**Induktivni senzor** [6] je elektronski bezkontaktni senzor koji služi za detekciju metalnih predmeta (slika 2.2). Razmak između senzora i predmeta može biti do 50mm. Senzor se sastoji od induktivne petlje, a električna energija generira magnetno polje. Pri ulasku metalnog predmeta u magnetno polje dolazi do induciranja struje u predmetu, nakon čega se smanjuje amplituda signala i aktivira promjena stanja na izlazu iz senzora.

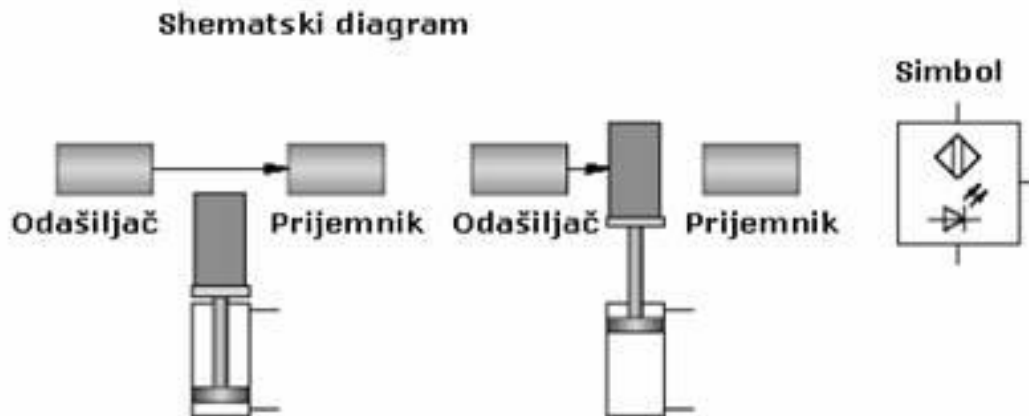
U kategoriji induktivnih senzora su: detektori metala, sustavi za automatizirano pranje automobila, kao i drugi senzori koji se primjenjuju u industrijskim okruženjima. Obzirom da ovakav senzor ne zahtijeva postojanje fizičkog kontakta između predmeta i senzora, pogodan je za primjenu u higijenski nepovoljnim sredinama. Razmak, tj. raslojavanje između predmeta i senzora, u rijetkim slučajevima veći je od 6 cm.



Slika 2.2 Induktivni senzor blizine sastavljen od električnog oscilatora (1) preklopnog nivoa (2) i pojačala (3)

Prednost korištenja induktivnog senzora ogleda se u otpornosti na vodu, ulje, prljavštinu, metalne dijelove, boju predmeta ili hrapavost površine predmeta koji treba detektirati, kao i u otpornosti na udarce i vibracije [8].

**Optički senzor** [7.1] koristi se za bezkontaktno detektiranje predmeta, bez obzira na materijal od kojeg su izrađeni. Optički senzori odašilju nevidljivu infracrvenu, ili vidljivu crvenu svjetlost, u svrhu detektiranja prisutnosti predmeta. Predmet se prepoznaje ili na principu presjecanja svjetlostnog vala, ili na principu reflektiranja emitiranog vala od predmeta nazad ka senzoru, radi aktiviranja senzorskog izlaza (slika 2.3).



*Slika 2.3 Optički senzor*

Prednosti optičkih senzora su [7.1]:

- veća raslojavanja koja je moguće ostvariti između predmeta i senzora, u odnosu na induktivne i kapacitivne senzore,
- sposobnost detekcije predmeta bez obzira na materijal od kojeg se sastoji,
- sposobnost raspoznavanja predmeta u ovisnosti od njihove boje i karakteristike površine (hrapavosti).

### 3. Senzori blizine

Senzori blizine imaju izlazni signal koji se mijenja kada je blizina objekta (*proximity*) veća ili manja od određene vrijednosti. Zbog toga se često nazivaju *prekidačima*, čije ime ovisi od fizičkog principa na kome rade: induktivni, kapacitivni i sl. Senzori blizine su jeftini, jednostavni i izdržljivi. Njihov informacijski kapacitet od jednog bita je mali, ali i pored toga imaju važnu ulogu tokom izvršavanja automatskih procesa – ovisno od izlaznog signala proces počinje, završava, mijenja se ili prekida. U industriji, ili primjerice u robotici, primjenjuju se pri registraciji (brojanju) radnih komada i detekciji prisustva objekata i prepreka. Odlikuju se visokim metrološkim i tehnološkim vrijednostima.

Opseg djelovanja je udaljenost pri kojoj se mijenja izlazni signal. Zbog varijacije u tehnološkim i konstrukcijskim parametrima, utjecaja temperature i nestabilnosti napona napajanja, nominalna vrijednost opsega djelovanja ima samo teorijski značaj.

Za tehničku primjenu relevantni su sljedeći parametri [7.1]:

*Realni preklopni opseg djelovanja*  $S_r$  koje se razlikuje od nominalnog za  $\pm a_r S_n$ . Koeficijent  $a_r$  obuhvaća proizvodne i konstrukcijske tolerancije definirane pri nominalnom naponu napajanja i radnoj temperaturi od 20°C; ima maksimalnu vrijednost 0,1, tako da je  $0,9 S_n \leq 0,9 S_r \leq 1,1 S_n$ ;

*Efektivni preklopni opseg djelovanja*  $S_e$  koje se razlikuje od nominalnog za  $\pm a_e S_n$ . Koeficijent  $a_e$  odražava utjecaj temperature, a vrijednost mu je takva da je  $0,9 S_r \leq S_e \leq 1,1 S_r$ , odnosno  $0,81 S_n \leq S_e \leq 1,21 S_n$ ;

*Operativni preklopni opseg djelovanja*  $S_o$ , koje odgovara dozvoljenim uvjetima rada, a definira se kao  $0 \leq S_o \leq S_{emin}$ , odnosno  $0 \leq S_o \leq 0,81 S_n$ .

Važan element senzora blizine su i statičke karakteristike.

**Histereza** statičke karakteristike definira se kao nepodudarnost između preklopnog opsega djelovanja, kada se detektirani objekat približava senzoru, i preklopnog opsega djelovanja kada se objekat udaljava od senzora. Histereza se izražava kao apsolutna vrijednost, ili u postocima nominalnog preklopnog opsega djelovanja.

**Ponovljivost** statičke karakteristike predstavlja točnost efektivnog preklopnog opsega djelovanja  $S_e$  za dva sukcesivna prekidačka stanja, između kojih je interval od osam sati, pri ambijentnoj temperaturi  $15^\circ\text{C} < t < 30^\circ\text{C}$  i pri napajanju koje varira najviše  $\pm 5\%$  od nominalne vrijednosti. Treba napomenuti da su u ponovljivost sumarno uključeni efekti promjenljivih uvjeta sredine i histereza.

**Frekvencija priključivanja**  $f$  je maksimalni broj sklopnih ciklusa u jednoj sekundi pri određenim uvjetima. Jedan sklopni ciklus definira se kao odnos ON/OFF, uz primjenu standardnog test objekta s točno propisanim oblikom, dimenzijama i materijalom od kojeg je napravljen. U ovisnosti od fizičkog principa rada senzora, specificirani su odgovarajući test objekti i odnosi ON/OFF (1/1 ili 1/2).

**Električne karakteristike** napajanja senzora ostvaruju se putem pojačivača čiji se rad kontrolira potrošnjom, tj. strujom senzora. Za pojačivača se specificiraju sledeći parametri [7.1]:

napon napajanja  $U$  s određenom vrijednošću struje kratkog spoja  $I_{ks}$ ;

vrijednost struje  $I_{pr}$  kada je senzor u točki preklapanja;

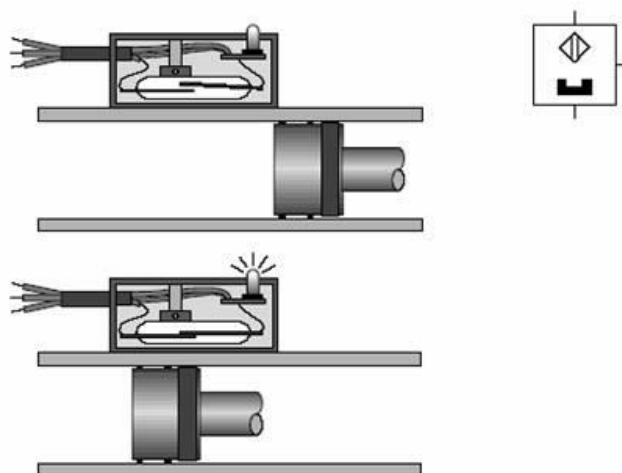
struja  $I_1$ , koja indicira prekid napojnog voda ili prestanak rada senzora, pri čemu je vrijednost  $I_1$  manja od minimalne vrijednosti radne struje u krugu;

struja  $I_2$ , koja označava kratak spoj u napojnom vodu ili prestanak rada senzora, pri čemu je vrijednost  $I_2$  veća od maksimalne vrijednosti radne struje u krugu.

### 3.1 Elektromehanički senzori blizine

Elektromehanički mikroprekidači najstariji su senzori blizine. Mikroprekidač je ugrađen u kućištu, a kontakti se aktiviraju pomoću poluge koja ima raznovrsne oblike, ovisno od namjene. Priključivanje električnih kontakata u određenoj poziciji realizira se s točnošću do  $\pm 2$  mm (manje ili više od 2 mm). Ovakvi prekidači su jeftini i mogu se direktno, bez pojačavača, upotrijebiti za prekidanje jednosmjerne i izmjenične struje do 25 A. Radna temperatura je od  $-65$  °C do  $+550$  °C, frekvencija priključivanja 100–300 sklopnih ciklusa u minuti, a vijek trajanja ograničen je na  $10^6$  -  $10^7$  uključivanja.

**Reed sklopka** [6] s mehaničkim kontaktima preteče su suvremenih senzora blizine. Elastični kontakti sklopke izrađuju se od feromagnetičnog materijala i hermetički su zatvoreni u kapsuli ispunjenoj inertnim plinom. Kontakti su u normalnom stanju otvoreni, a kada se približi stalni magnet pričvršćen na ruci robota ili radnom objektu, kontakti se zatvaraju (slika 3.1)



Slika 3.1 Reed sklopka

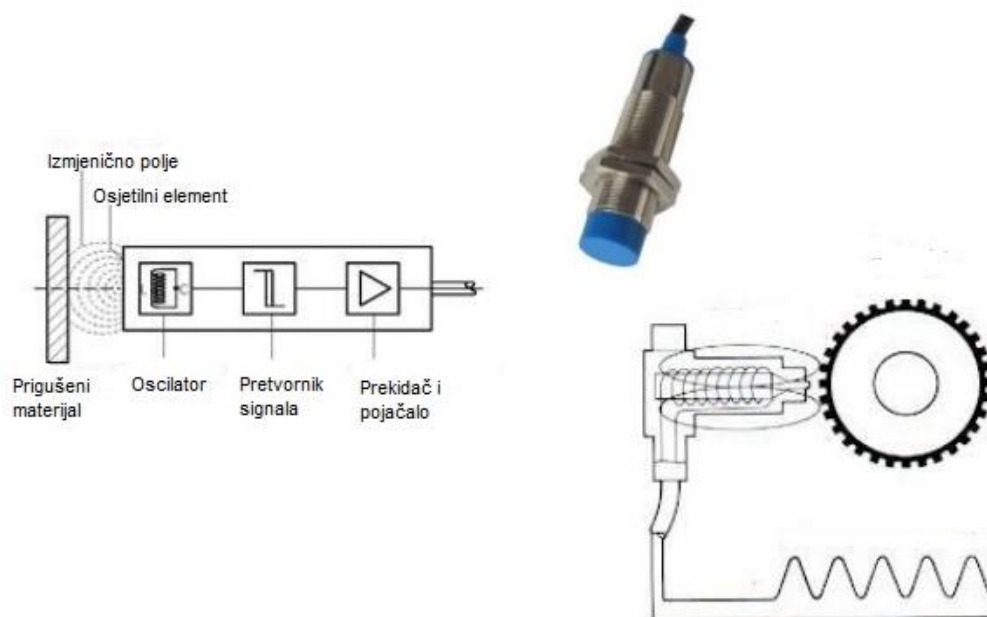


Pozitivne strane senzora na bazi reed releja su visoka pouzdanost od preko  $10^7$  prekidanja, točnost i histereza  $\pm 1 \mu\text{m}$ , temperaturni opseg rada od  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$ , neosjetljivost na vlagu i mogućnost rada u termički osjetljivoj sredini. Negativne osobine su preklon sa odskakanjem (tzv. "treperenje kontakata") i relativno duže vrijeme uspostavljanja novog stanja.

Elektronski senzori blizine nemaju nedostatke svojih prethodnika sa mehaničkim kontaktima, a zadržavaju sve njihove dobre osobine.

### 3.2 Elektromagnetski senzori

Njihov se princip rada temelji na ovisnosti induktivnosti zavojnice od promjene magnetske otpornosti. Približavanjem metalnog predmeta slabi magnetska otpornost zavojnice i raste induktivnost. Kada se predmet udaljava, događa se suprotna pojava [9]. Parametri elektromagnetskog toka i karakteristike objekta određuju zonu detekcije. Induktivni senzor blizine može se primjeniti i za detekciju metalnih objekata koji nisu od čelika, slika 3.2.



Slika 3.2 Induktivni senzor

Induktivni senzor s jednosmjernim izlaznim signalom izrađuje se od zavojnice kao primarnog osjetilnog elementa, oscilatora koji generira naizmjenično elektromagnetsko polje, demodulatora koji pretvara promjenu amplitude u jednosmjerni signal, prekidača i pojačivača.

Induktivni senzori blizine odlikuju se velikom pouzdanošću, kompaktnom gradnjom i otpornošću na kemikalije, mehaničke vibracije i vlažnost. Imaju značajne prednosti u odnosu na elektromehaničke [10]:

- beskontaktni preklop bez treperenja,
- mala potrošnja,
- teorijski neograničen vijek trajanja,
- zaštita od preopterećenja,
- zaštita od kratkog spoja i
- zaštita od nepravilnog priključivanja.

Induktivni senzor blizine može se primjeniti i za detekciju metalnih objekata koji nisu od čelika.

**Električne karakteristike** induktivnih senzora blizine propisane su standardima.

Najvažniji parametri su [10]:

stabilan napon napajanja  $U_o = 7 - 9 \text{ V}$  (preporučuje se  $8,2 \text{ V}$ ) sa strujom kratkog spoja  $I_{ks} = 7 - 16 \text{ mA}$  (preporučuje se  $8,2 \text{ mA}$ );

struja  $I_{pr} = 0,2 - 2,1 \text{ mA}$  kada je senzor u točki preklapanja;

struja  $I_1 = 0,05 - 0,15 \text{ mA}$ , koja indicira prekid napojnog voda ili prestanak rada senzora;

struja  $I_2 = 6,5 - 7,45 \text{ mA}$ , koja indicira kratak spoj u napojnom vodu ili otkaz senzora, pri čemu navedenom opsegu struje odgovara ekvivalentna otpornost senzora od  $360 \Omega$  do  $100 \Omega$  i za napon napajanja  $8,2 \text{ V}$ .

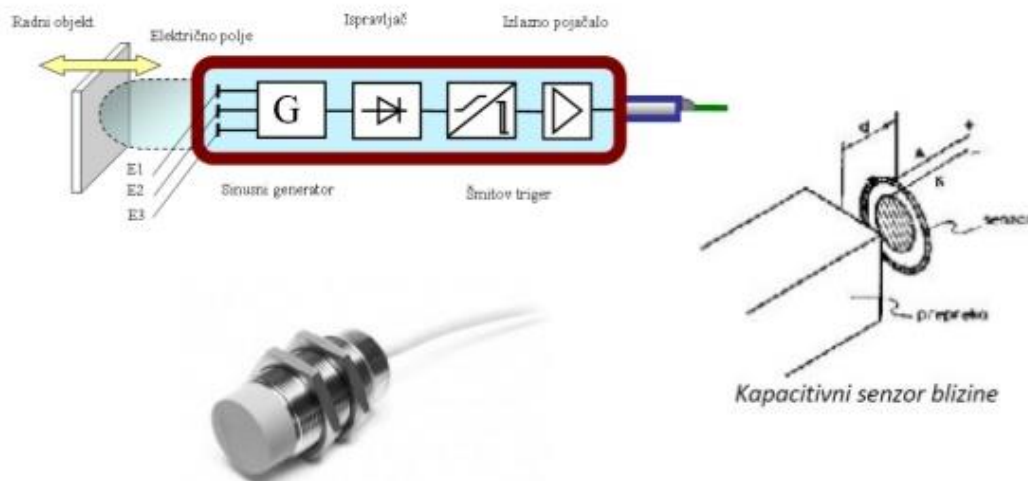
Radna vrijednost struje ovisi od samog senzora i određuje se u skladu sa prethodnim tehničkim parametrima. Za kontrolu rada pojačivača unutar definiranih granica upotrebljavaju se tranzistori, ili operacijski pojačivači.

U pogledu tehničkih karakteristika, induktivni senzori blizine odlikuju se velikom pouzdanošću, kompaktnom gradnjom i otpornošću na kemikalije, mehaničke vibracije i vlažnost. Radna temperatura je u opsegu  $- 25 \text{ °C}$  do  $+80 \text{ °C}$ , a za specijalne konstrukcije opseg je veći: od  $- 40 \text{ °C}$  do  $+100 \text{ °C}$ . Frekvencija preključivanja veća je kod senzora manjih dimenzija jer oni imaju manju aktivnu površinu i manji opseg djelovanja: na primjer,  $f = 50 - 2500 \text{ Hz}$  za aktivnu površinu  $D < 1 \text{ mm}$  i opsegom djelovanja  $s_n = 1 - 2 \text{ mm}$ .

### 3.3 Kapacitivni senzori blizine

Kapacitivni senzori blizine sastoje se od kondenzatora, kao primarnog osjetilnog elementa koji se priključuje na oscilator ili pojačivač. U oba slučaja kapacitivnost kondenzatora mijenja se zbog ulaska objekta i promjene dielektrične konstante između elektroda, ili zbog promjene razmaka između elektroda, od kojih je jedna na aktivnoj površini senzora, a druga na objektu [1].

Konstrukcija sa RC - oscilatorom napravljena je tako da pojava objekta između elektroda dovede do nastanka naizmjeničnog napona. U prekidačkom kolu (ispravljač sa Schmittovim okidačem) simultani napon oscilatora ispravlja se i prekida, a rezultirajući jednosmjerni napon mijenja ON/OFF stanje izlaznog stupnja. Podešavanjem povratne sprege između oscilatora i prekidačkog kola postavlja se vrijednost preklopnog razmaka (slika 3.3):



Slika 3.3 Kapacitivni senzor

Konstrukcija s pojačivačem obično ima kapacitivni senzor blizine s promjenljivim razmakom između elektroda. Izlazni napon  $e_{OUT}$  je:

$$e_{OUT} = - \frac{KCe}{S} d \quad (3.1)$$

K - konstanta,

C - kapacitivnost na ulazu u pojačivač,

e - amplituda naizmjeničnog pobudnog napona i

S - aktivna površina elektroda.

Izmjenični napon ispravlja se i upoređuje s naponom praga Schmittovog okidača, koji je podešen na vrijednost ekvivalentu preklopnog razmaka. Izlaz okidača mijenja ON/OFF stanje izlaznog stepena [1].

**Opseg djelovanja** ovisi o vrsti materijala od kojeg je napravljen radni objekt. Razlikuju se tri slučaja [1]:

- radni objekt je od nepropusnog, izolacijskog materijala – dielektrika (staklo, drvo, plastika). Promjena dielektrične konstante medijuma u aktivnoj zoni je mala, zbog čega je preklopni razmak manjih dimenzija (20–30 mm);
- radni objekt je od metala, tako da do promjene kapacitivnosti dolazi na većoj udaljenosti nego u prethodnom slučaju, tj preklopni razmak je oko 40 mm;
- radni objekt je od metala koji je uzemljen, pa je apsorpcija elektriziranja izraženija, a preklopni razmak približno dvostruko veći nego u prvom slučaju (50 - 60 mm).

Prisustvo vlage i prašine, a također i porast temperature, povećavaju preklopni razmak. Točna vrijednost udaljenosti, pri kojoj dolazi do priključivanja, može se utvrditi jedino za određene radne uvjete. Kapacitivni senzori neupotrebljivi su za detekciju predmeta od poroznih materijala (stiropor, spužva) jer imaju loše dielektrične osobine, odnosno, njihova relativna dielektrična konstanta blizu je jedinice.

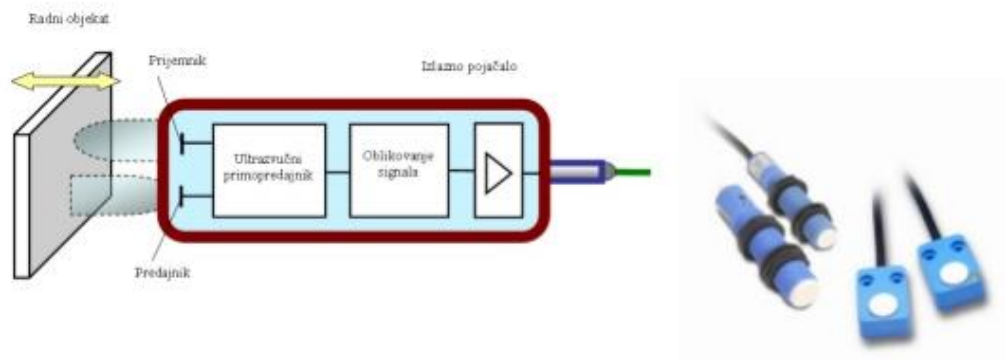
**U pogledu konstrukcija i tehničkih karakteristika** - blok - struktura i konstrukcija kapacitivnih senzora blizine slična je induktivnim - najčešće se prave u obliku cilindra promjera  $d = 10 - 30$  mm, i dužine  $l = 60 - 100$  mm, ili prizme dimenzija od  $40 \times 40 \times 100$  mm do  $80 \times 80 \times 40$  mm. Standardni test objekat je od stakla ili PVC plastike, dimenzija  $100 \times 100 \times 100$  mm. Za objekte od drugih materijala deklariraju se odgovarajući korekcijskii faktori [1]:

- za metale 1;
- za vodu 1;
- za staklo 0,5;
- za keramiku 0,4;
- za drvo 0,2 - 1.

Preklopni razmak podesiv je u intervalu od 2 - 10 mm do 5 - 50 mm, histereza je  $10\%_{SN}$ , obnovljivost je manja od 0,01 mm, frekvencija priključivanja je 10 - 100 Hz, radna temperatura je od - 30 °C do +70 °C. Solidna je podnošljivost na mehaničke vibracije amplitude do 1 mm i frekvencije do 50 Hz, a napon napajanja je jednosmjerni (10 - 30 V) ili izmjeničan (20 - 220 V, 50 Hz) [1].

### 3.4 Ultrazvučni senzori blizine

Ultrazvučni senzori blizine izrađuju se od ultrazvučnog primopredajnika, uređaja za formiranje izlaznog signala i pojačivača (slika 3.4):



Slika 3.4 Ultrazvučni senzor

Primopredajnik periodično emitira ultrazvučni val frekvencije 10 - 400 kHz, a zatim prima reflektirani val (jeku) od radnog objekta. U uređaju za formiranje izlaznog signala određuje se vrijeme  $t$  između emitiranja i prijema signala, te na osnovu poznate brzine  $c$  prostiranja ultrazvučnog vala kroz mjerni medij (obično je to zrak), izračunava udaljenost objekta [1]:

$$x = \frac{tc}{2} \quad (3.2)$$

Ovaj način rada često se označava akronimom TOF (engl. *time of flight*). Rezultat računanja uspoređuje se s preklopnim razmakom i u skladu s tim, dolazi do promjene izlaznog signala s logičke nule na logičku jedinicu, ili obrnuto - s logičke jedinice na logičku nulu; što zavisi od toga da li se objekt približava ili udaljava. Od senzora do objekta ultrazvuk se širi po radijusu 5 - 10°. Najčešće se senzori isporučuju sa inicijalno postavljenim preklopnim razmakom, pa se nakon toga posebnim potenciometrom podešava željena vrijednost unutar 0 - 100%

maksimalne vrijednosti. Podaci o nastavljenoj vrijednosti odnose se na slučaj kada se objekt kreće duž osi zračenja. Objekt se može kretati i normalno na os zračenja, ali je tada efektivni preklopni razmak potrebno odrediti eksperimentom [1].

Detekcija blizine objekata na osnovu vremena prelaska ultrazvuka od predajnika do prijemnika u načelu je jednostavna, ali se u gradnji senzora javlja više problema (zavisnost brzine od temperature i pritiska zraka, slabljenje intenziteta zbog radijalnog širenja i apsorpcije, djelovanje šuma i dr.).

Brzina ultrazvuka  $c$  različita je u pojedinim medijima. Primjerice, u vodi je 1500 m/s, u metalima 3000 - 6 000 m/s, u staklu 5 500 m/s, u stiroporu samo 500 m/s. O ovome se vodi računa u fazi projektiranja senzora, jer se senzor gradi za određenu namjenu.

Ultrazvučni senzori blizine izrađuju se kao elektrostatični ili piezoelektrični. Elektrostatični imaju radnu frekvenciju do 250 kHz. Između dvije tanke metalne elektrode priključen je jednosmjerni prednapon, tako da se one privlače. Kada se na ovaj prednapon postavi i izmjeniči napon, na isti način (sa istom frekvencijom) mijenja se i privlačna sila između elektroda. Obično je jedna elektroda fiksirana, a druga upeta po obodu i vibrira u skladu sa silom, proizvodeći ultrazvučne talase. Uređaj može raditi i kao prijemnik - akustični signali pretpostavljaju vibraciju elastične membrane modelirajući tako kapacitivnost između elektroda, koji se detektiraju odgovarajućim elektronskim krugovima.

Piezoelektrični primopredajnici stvaraju se od piezoelektričnih materijala. Kada se piezoelektrična membrana priključi na naizmjenični napon, ona počinje oscilirati i djelovati kao generator ultrazvuka. Membrana može biti i bimorfna, tj. sastavljena od dva sloja, pri čemu se pod djelovanjem napona jedan sloj ističe, a drugi sabija (ili zadržava iste dimenzije). Membrana je promjera 10 - 20 mm. Da bi se dobio što veći intenzitet emitiranih valova, membrana se projektira kako bi funkcionirala na rezonantnoj frekvenciji:

$$f_r = \frac{1}{2h} \sqrt{E/2\rho} = \frac{c_m}{2h} ; \quad (3.3)$$

gdje su:

$h$  - debljina membrane,

$E$  - Joungov modul elastičnosti i

$c_m = (E/\rho)^{0,5}$  - brzina ultrazvuka u piezoelektričnoj membrani.

Veća rezonantna frekvencija nastaje u skladu s tanjom membranom. Najpovoljniji rezultati postižu se pomoću membrana tanjih slojeva 30 -100  $\mu\text{m}$  od piezopolimera PVDF. Kako je  $c_m = f\lambda$ , gde je  $\lambda$  valna dužina ultrazvuka, dobiva se da je pri rezonantnoj frekvenciji valna dužina jednaka dvostrukoj debljini membrane  $\lambda = 2h$ . U praksi je rezonantna frekvencija 1 - 10 MHz [1].

**Tipične konstrukcije** ultrazvučnog senzora blizine imaju oblik prizme ili cilindra, približno istih dimenzija kao kod induktivnih ili kapacitivnih senzora blizine. Glava sa primopredajnikom može biti odvojena od elektronskog dijela, čime se omogućava ugradnja i na nepristupačnim mjestima.

**Test objekt** određuje se karakteristikama reflektirajuće površine radnog objekta. Naime, objekt može biti od čvrstog, tekućeg ili praškasto - granulastog materijala, ali je bitno da mu je površina glatka, sa neravninama manjim od 0,2 mm. Debljina objekta treba biti veća od 0,01 mm, a reflektirajuća površina pod kutom  $90 \pm 3^\circ$  u odnosu na pravac prostiranja ultrazvuka [1].

Sa porastom temperature slabe reflektirajuća svojstva objekta, pa zato radna temperatura treba biti manja od kritične  $t_{kr}$ . Ova temperatura ustanovljava se eksperimentom, a svojstvena je vrsti materijala od kojeg je napravljen objekat. Materijali kao što su pamuk, stiropor i guma imaju visok koeficijent apsorpcije ultrazvuka, pa je prisustvo objekata od takvog materijala moguće očitavati samo u odnosu na pozadinu s dobrom refleksijom.

Prilikom ugradnje ultrazvučnih senzora blizine vodi se računa o nizu iskustvenih pravila korisnih za smanjivanje interferencije s drugim ultrazvučnim sensorima [1]:

za zaokretanje ultrazvučnog vala primjenjuju se (maksimalno) dva reflektora kojima je moguće val zaokrenuti, ponajviše dva puta po  $90^\circ$  i dovesti ga na os paralelnu s osi senzora;

za umanjivanje refleksije sa drugih objekata koji se nalaze u blizini radnog objekta može se upotrebiti dijafragma s prorezima;

za detekciju objekata raspoređenih u formi lepeze u odnosu na senzor, može se upotrijebiti zastor s odgovarajućim brojem proreza koji se otvaraju sukcesivno, ili po nekom programu;

za dva senzora postavljena jedan nasuprot drugog na istoj osi, potrebno je osigurati minimalni dozvoljeni međusobni razmak  $x_1$ , koji zavisi od preklopnog razmaka, a određuje se eksperimentom;

za dva senzora s paralelnim osima, koji zrače u istom smjeru, potreban je određeni razmak  $x_2$  između osi, da ne bi nastala uzajamna interferencija, pri čemu  $x_2$  ovisi od preklopnog razmaka i orijentacije objekta u odnosu na os senzora;

za senzor čija je os paralelna nekom zidu, neophodno je da se senzor postavi na razmak  $x_2$  od zida;

za senzor koji se montira u koridoru između dva zida potrebno je osigurati minimalno razmak  $x_2$  između osi i zidova, što se također određuje eksperimentom.

Primjena ovakvog tipa senzora poprilično je raširena, posebno [1]:

- pri očitavanju vjetrobrana
- kod nadgledanja proizvodne trake u tvornici
- pri sortiranju proizvoda po određenom kriteriju
- za detekciju ulaza/izlaza osoba
- pri zaštiti od sudara
- kao detektor očitovanja nepravilnosti kod proizvodne trake u tvornici
- pri očitovanju i brojanju određenih proizvoda itd.

### 3.5 Optoelektronski senzori blizine

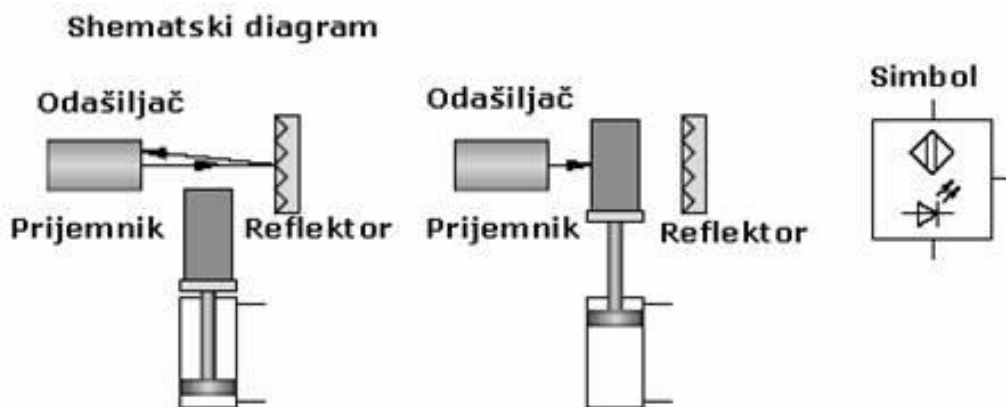
Optički senzori blizine sastoje se od optičkog para (engl. *optocoupler*) – odašiljača/predajnika i prijemnika. Kao odašiljači/predajnici služe svijetleće diode (LED) diode i laserske diode (LD), a kao prijemnici upotrebljavaju se fototranzistori, fotodiode i fotootpornici [1]. Najrasprostranjenija je kombinacija LED dioda i fototranzistor, pri čemu se radni predmet detektira prekidanjem ili refleksijom optičkog signala. Svjetlost se obično ne emitira konstantno, već u impulsima velike snage, ali tako da je srednja snaga impulsa u granicama dozvoljenog opsega koji se definira za kontinualni rad. Na taj način postiže se veći put od predajnika do prijemnika. Za LED diodu ovaj put ograničen je na nekoliko metara, a za LD diodu iznosi više desetina metara.

Odašiljač/predajnik i prijemnik rade sukladno u određenom području optičkog spektra. Obično je optički signal u području vidljive svjetlosti ( $\lambda = 0,38 - 0,76 \mu\text{m}$ ), u području kratkovalne infracrvene svjetlosti ( $\lambda = 0,76-3 \mu\text{m}$ ), ili u području srednjovalne infracrvene svjetlosti ( $\lambda = 3 - 8 \mu\text{m}$ ). Više se primjenjuju senzori u infracrvenom području, jer normalno rade i u okolini sa dnevnim svjetlom. Detekcija objekta na osnovu prekidanja optičkog signala svodi se zapravo, na prepoznavanje prisustva objekta bez obzira na njegovu poziciju između predajnika i prijemnika, tj. na mjesto gdje je zrak prekinut. Ovaj način rada veoma je



pouzdan i pogodan za objekte sa slabo reflektirajućom površinom. Predajnik i prijemnik svjetlosti obično su jedan naspram drugog, ali mogu biti i jedan pored drugog kada se koristi ogledalo kao retroreflektor iza objekta [1].

Optoelektronski senzori sa refleksijom na objektu međutim, prepoznaju prisustvo objekta na točno određenoj udaljenosti koja ovisi od intenziteta emitirane svjetlosti, koeficijenta refleksije materijala od kojeg je objekt napravljen i od orijentacije objekta u odnosu na predajnik i prijemnik. Reflektirana svjetlost ima difuzni karakter, pa se zato senzori sa ovakvim načinom rada nazivaju difuzni (slika 3.5):



*Slika 3.5 Optoelektronski senzor*

Za sve optoelektronske senzore blizine stvara se i vrijeme odaziva, koje je potrebno za promjenu izlaza kada se ulaz promjeni iz svjetla u mrak, ili obrnuto. Vrijeme odaziva važno je kod detekcije malih pokretnih objekata. Preporučuje se da minimalno vrijeme odaziva za detekciju objekta širine  $w$  koje se kreće brzinom  $v$  bude:

$$T_{\min} = w/v \quad (3.4)$$

a ako je širina objekta  $w$  mjerljiva sa efektivnim poprečnim presjekom optičkog zraka  $d$ , tada vrijeme odaziva treba biti:

$$T_{\min} = (w-d)/v \quad (3.5)$$

Optički parovi grade se u jednom ili u dva nezavisna kućišta od plastike. Kućišta su U - oblika/kategorije, cilindričnog ili pravokutnog oblika, malih su dimenzija i moguće ih je

ugraditi praktički na svakom mjestu. Na manje dostupna mjesta optički zrak može se dovesti pomoću ogledala ili optičkog vlakna. Optičko vlakno pogodno je zbog malih dimenzija ( $d=100-400 \mu\text{m}$ ) i neznatnog utjecaja pregiba na amplitudu optičkog signala.

Optoelektronski senzor blizine sa produžecima od optičkog vlakna izrađuje se od dovodnog vlakna povezanog sa LED diodom, a prijemno vlakno s fototranzistorom. Izlazni signal ovisi od razmaka između objekta i optičkih vlakana. Za  $x = 0$  i  $x = \infty$  na fototranzistoru nema signala, što znači da će refleksija, odnosno izlazni signal za  $x$  imati maksimalnu vrednost. Statička karakteristika ovog, u suštini kontinualnog/konstantnog senzora senzora je [1]:

$$\bar{u} = \frac{u - u_0}{u_0} = f(x/d) \quad (3.6)$$

gdje su  $u$  i  $u_0$  aktualni i maksimalni izlazni napon na fototranzistoru, a  $x/d$  relativna udaljenost objekta u odnosu na promjer vlakna. Potencijetrom u izlaznom krugu diode prilagođava se nivo napona, pri čemu dolazi do promjene izlaza, odnosno podešava se željeni preklopni razmak. U novije vrijeme optička vlakna prave se i od akrilata, tj. providnog polimera. Plastična vlakna jeftinija su od staklenih, ali jako prigušuju svijetlost u određenim opsezima valnih dužina (naročito IC), osjetljivi su na kemijske utjecaje i radna temperatura im je ograničena u interval od  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Preklopni razmak optoelektronskih senzora kreće se u širokom području od [1]:

- 0 - 1 mm za mala,
- 0 - 200 mm za srednja i
- 0 - 4 m za velika rastojanja, pri čemu su navedeni podaci za senzore sa refleksijom optičkog signala.

Ukoliko se kao optički izvor upotrijebi LD, opseg djelovanja može biti više desetina metara. Slično je i za razmak između odašiljača i prijemnika kod senzora sa prekidanjem optičkog signala. Frekvencija prekidanja iznosi do 400 Hz, ponovljivost je  $\pm 5\%$  opsega, histereza je  $\pm 3\%$ , radna temperatura je 0 - 50  $^\circ\text{C}$ , napon napajanja je jednosmjerni 10 - 30 V.

Raznovrsni su primjeri koji ukazuju na velike mogućnosti primjene optoelektronskih senzora [1]:

- detekcija pokretne trake
- detekcija ruba metala

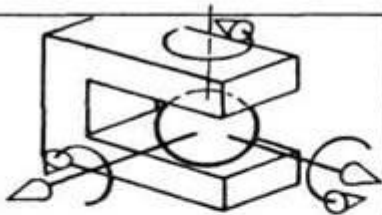
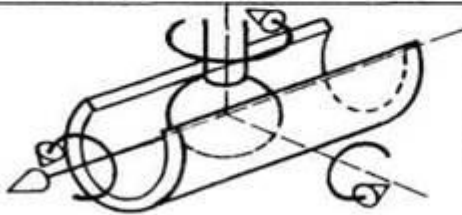
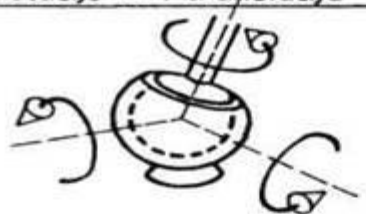
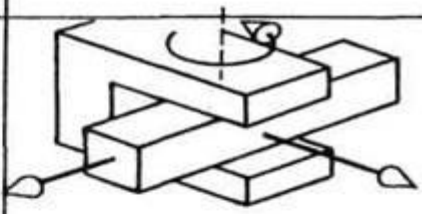
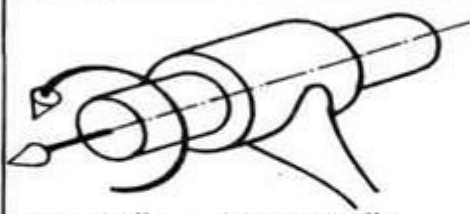
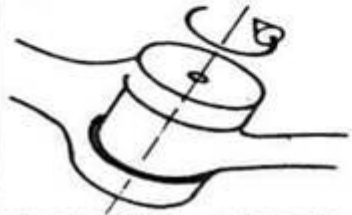
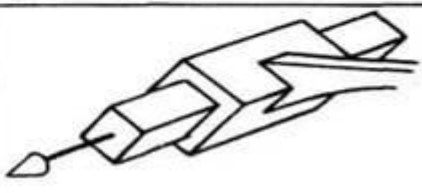
- očitovanje okretaja zupčanika
- prepoznavanje/očitovanje dijelova na pokretnoj traci
- detekcija manjih izobličenja itd.

## 4. Senzori sile i momenta

Potreba za sensorima sile je ponajviše istaknuta u robotici i industriji. Industrijski robot (manipulator) jest, naime, mehanizam koji se sastoji od nekoliko segmenata povezanih u seriju. Kod izvršavanja radnih operacija segmenti se kreću u odnosu jedan na drugi, po unaprijed zadanoj putanji. Prema tome, upravljanje određenom operacijom u suštini se svodi na pozicijsko upravljanje. Tokom izvršavanja automatskih operacija kao što su montaža/sastavljanje, poliranje ili zavarivanje, robot kontrolira svoje kretanje na temelju informacija o poziciji sve dok ne dođe u kontakt sa radnim predmetom. U tom trenutku vizualna detekcija pozicije predmeta najčešće je otežana [1].

Ako bi robot nastavio održavati putanju u uvjetima neodređenosti, kontaktne sile postajale bi sve veće, što bi moglo dovesti do loma radnog predmeta ili robota.

Kako bi se takvo što izbjeglo, robot nakon detekcije kontakta prelazi s pozicijskog upravljanja, na upravljanje bazirano na informaciji o silama. Sistem automatskog upravljanja, s negativnom spregom po sili, vodi robot u smjeru smanjivanja razlike između aktualne vrijednosti kontaktne sile i njene referentne vrijednosti zadane programom, što je ekvivalentno praćenju putanje kod pozicijskog upravljanja. Usuglašavanje ili prijelaz s jednog na drugo upravljanje može biti pasivno (manipulator elastičan, sistem s pozicijskom povratnom spregom), ili aktivno (manipulator čvrst, sistem s povratnom spregom po sili), slika 4.1 [1].

klasa kinern. para	broj stepeni slobode		
I	5	 <p>3 rotacije + 2 translacije</p>	
II	4	 <p>3 rotacije + 1 translacija</p>	
III	3	 <p>3 rotacije + 0 translacije</p>	 <p>1 rotacija + 2 translacije</p>
IV	2	 <p>1 rotacija + 1 translacija</p>	
V	1	 <p>1 rotacija + 0 translacije</p>	 <p>0 rotacije + 1 translacija</p>

Slika 4.1 Primjena robota u industriji

*Aktivno usuglašavanje* je upravljanje, pri kojem senzori sile daju informaciju za korekciju pozicije manipulatora. Kada sila prelazi određenu vrijednost, robot se pomiče u smjeru smanjenja sile. Ova metoda primjenljiva je za bilo koju operaciju. Međutim, interakcija između kontaktnih sila i pomaka komplicirana je za programiranje, jer treba definirati pomicanje duž i oko osi  $x,y,z$  djelovanjem svih šest komponenti vektora  $F[F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z]^T$ .

Izvršavanje automatskih operacija na ovaj način relativno je sporo, jer je ukupno vrijeme odaziva dodatna kombinacija vremena potrebnog za dobivanje informacije, generiranje upravljačkog utjecaja, proračun putanje i za pozicioniranje servomotora.

Mjesto na kome se ugrađuje senzor sile treba imati veću elastičnost (manju krutost) od sustava *platforma - manipulator - hvataljka*, jer se od senzora zahtijeva visoka osjetljivost. Na tom mjestu manipulator istovremeno mora zadržati određenu čvrstinu.

Pasivni prijelaz s pozicijskog upravljanja na upravljanje silom je brži i jednostavniji, jer je pretvaranje sile u pomak robota radi smanjenja sile direktno proporcionalno, te nije potrebna programska podrška [3]. Direktna kompenzacija sile omogućena je posebnom konstrukcijom zgloba šake sa tzv. pomaknutim centrom prilagođavanja. Takav centar prilagođavanja omogućuje kretanje samo duž i oko osi  $x$  i  $y$ , pri čemu je koordinatni početak u vrhu šake, odnosno u vrhu radnog komada kojeg manipulator drži.

Za mjerenje sila i momenata postoji veliki broj raznovrsnih senzora. Klasični senzori mjere samo jednu komponentu ovih vektorskih veličina. U robotici je to nedovoljno jer su često potrebne informacije o sve tri komponente sile  $F(F_x, F_y, F_z)$  i sve tri komponente momenta  $M(M_x, M_y, M_z)$ , odnosno neophodno je potpuno poznavanje vektora [1]:

$$F = F[F, M]^T = F[F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z]^T \quad (4.1)$$

Istraživanja su pokazala da se i najsloženije operacije montaže i sastavljanja u industriji, robotici itd., mogu provesti pomoću relativno jednostavnih algoritama, kada su elastični zglob i senzor napravljeni nezavisno, kao kompaktni uređaji. Upravljanje robotom tada je hijerarhijski strukturirano. Pravokutno  $x,y,z$  pozicioniranje, korekcije i kretanje u vezi sa neposrednim operacijama montažiranja/asembliranja (na primjer, kretanje naniže radi uvlačenja) pripadaju višem hijerarhijskom nivou. Fine korekcije provode se na nižem hijerarhijskom nivou pomoću servoregulacijske konture sa senzorom sile u povratnoj sprezi. Izlazi senzora sile su informacije koje služe računalu za upravljanje zglobom na robotu, kao izvršnim uređajem.

Mjerenje kontaktnih sila i momenata pri asembliranju nije lako. Razlog je što su u pitanju vektorske veličine, i što se zbog osjetljivih promjena pravca i intenziteta postavljaju strogi zahtjevi u pogledu statičke i dinamičke točnosti određivanja komponenti duž i oko osi. Posebno je teško ispuniti zahtjev za kompaktnom minijaturnom konstrukcijom senzora u kome se pomoću jednog elastičnog elementa detektiraju sve komponente sile i momenta.

Elastični element ima različite, uglavnom složene oblike, a njegove deformacije mjere se pomoću mjernih traka, optičkih ili induktivnih senzora.

Općenito promatrano, višekomponentni senzor sile ima šest stupnjeva slobode, odnosno, tri komponente sile  $F_x, F_y, F_z$  i tri komponente momenta  $M_x, M_y, M_z$ . Proporcionalno djelovanju sile  $F = F[F, M]^T = F[F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z]^T$  elastični element se reformira:

$$F = RD \quad (4.2)$$

gdje je  $R$  matrica  $6 \times n$  koeficijenata krutosti elastičnog elementa, a  $D$  matrica  $n \times 1$  deformacije [1].

Na elastičnom elementu označena su mjesta gdje su postavljeni senzori deformacija sa električnim izlazima  $S_1, S_2, \dots, S_n$ . Njihov broj može biti i veći od šest, ovisno od oblika elastičnog elementa i načina obrade signala sa senzora. Djelovanjem sile duž jedne osi dolazi do deformacije elastičnog elementa ne samo duž te, nego i duž ostalih osi. Ove poprečne deformacije su sistematska greška mjerne metode čija je vrijednost oko  $\pm 1\%$  mjernog opsega. Ako su senzori deformacije linearni tada je

$$S = KD \quad (4.3)$$

gdje je  $K$  kalibracijska matrica  $n \times n$  koeficijenata statičkog prijenosa (osjetljivosti) senzora ustanovljenih kalibracijom.

Ako se izmjerena deformacija  $D$  iz jednadžbe uvrsti u iduću jednadžbu, dobiva se uobičajena matrična forma za silu:

$$F = RK^{-1}S = PS \quad (4.4)$$

gdje je matrica  $P$ ,  $6 \times n$  kalibracijska matrica. U literaturi ova matrica još opisuje veze za određivanje sile iz izlaznih signala. Prilikom određivanja matrice  $P$  prvo se mora naći pseudoinverzna matrica  $P^*$  tipa  $n \times 6$ , koja zadovoljava relaciju

$$P^*P = I \quad (4.5)$$

gdje je  $I$  jedinična matrica  $n \times n$ . Ako se jednadžba pomnoži sa  $P^*$ , dobiva se izraz [1]:

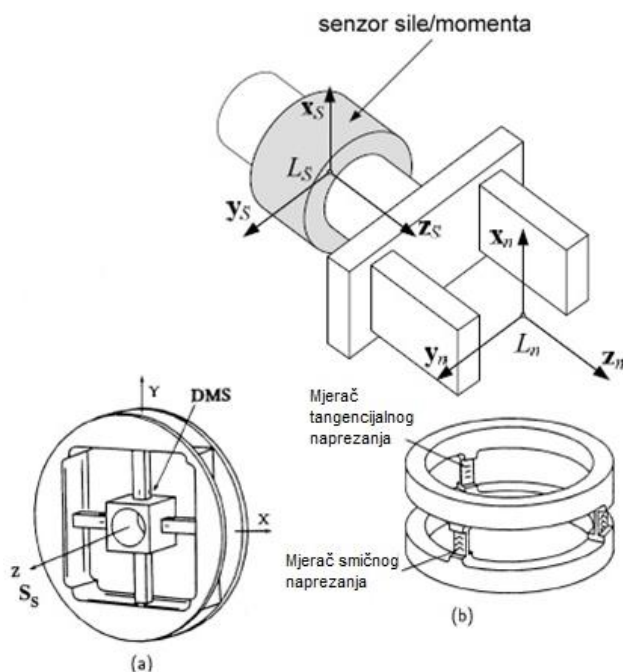
$$P^*F = P^*PS = IS = S \quad (4.6)$$

Elementi  $P^*$  računaju se za  $i$ -tu vrstu ( $i=1,2, \dots, n$ ) na osnovu kalibracijskih podataka za  $F_k$  i  $S_k$ , pri čemu se za svaku vrstu dobija šest jednažbi:

$$P^*_{i1} F^*_{k1} + P^*_{i2} F^*_{k2} + P^*_{i6} F^*_{k6} = S_{ki}, \quad k=1,2, \dots, 6 \quad (4.7)$$

Standardnim postupcima sistem linearnih jednažbi riješava se po nepoznatim  $P^*_{ij}$ . Kada se procedura ponovi za sve vrste, tj.  $i=1,2, \dots, n$  puta, time je određena matrica  $P^*$ . Na kraju, kalibracijska matrica  $P$  je:

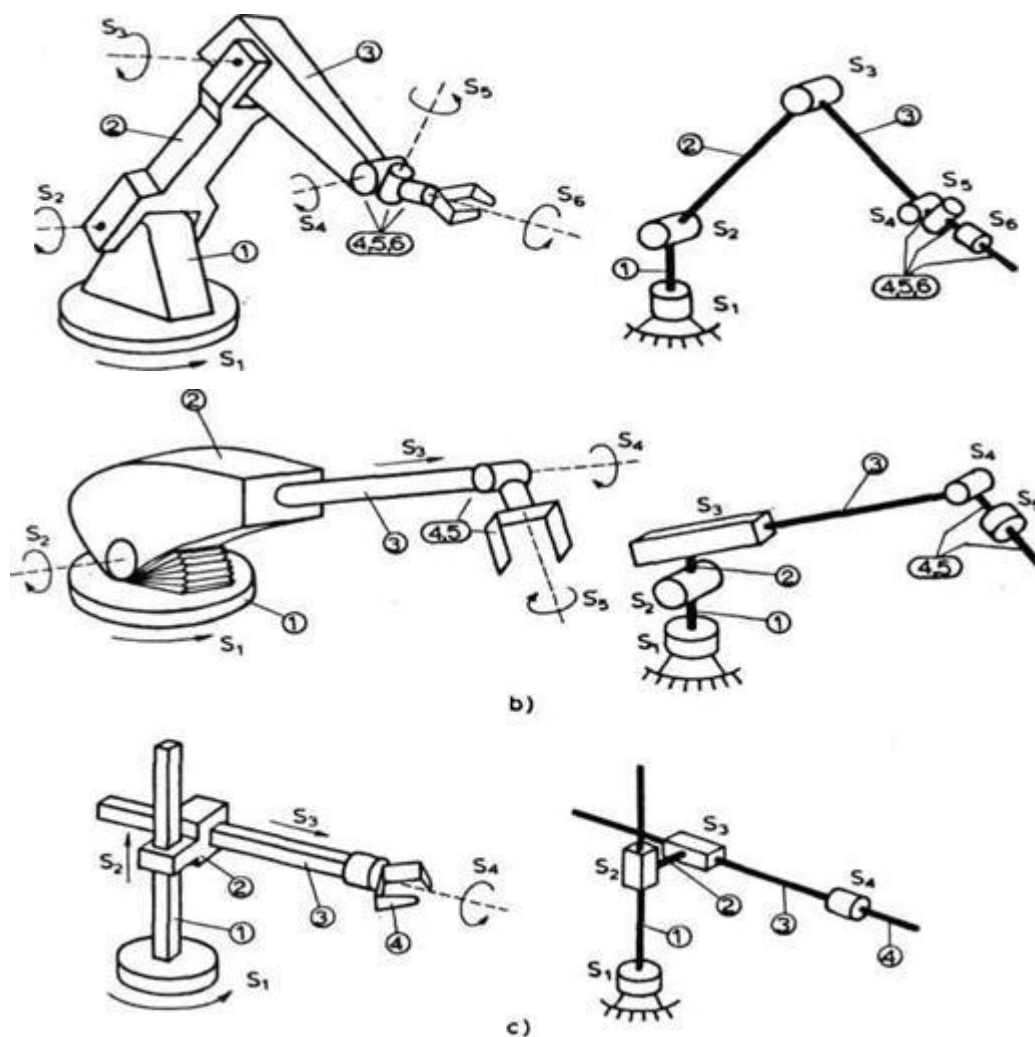
$$P = (P^{*T} P^*)^{-1} P^{*T} \quad (4.8)$$



U idealnom slučaju nema poprečnih veza i tada je  $P$  dijagonalna matrica  $6 \times 6$ . Poboljšanom konstrukcijom elastičnog elementa, upotrebom kvalitetnih senzora deformacije i uz pomoć elektronskih krugova za korekciju, nedijagonalni elementi mogu se učiniti samo približno jednakim nuli. Primjena mikroprocesora daje brzu i točnu korekciju za svaki izlaz i omogućava bolju distribuciju funkcija između mehaničkih i elektronskih komponenti senzora deformacije kao i procesiranja signala, slika 4.2 [3].

Slika 4.2 Senzor sile/momenta u zglobu robota

Mjerne trake se u industriji uspješno primjenjuju za mjerenje deformacija u sensorima sile. Razlog je u savršenijim konstrukcijama elastičnog elementa, pa se relativno lako postiže modularnost. S druge strane, veoma dobro su razrađene tehnike dobivanja električnog signala pomoću mjernih traka i osnaženja signala, konverzije u digitalni signal i prijenosa signala do kontrolora radi konačne obrade, slika 4.3 [3].



Slika 4.3 Prikaz sile i momenta kroz različite modele manipulacijskog robota

## 5. Taktilni senzori

Taktilni senzori mjere aktualne vrijednosti fizičkih veličina radne okoline stroja ili robota, što omogućava stroju/robotu da adekvatno djeluje na okolinu. Taktilna (dodirna) percepcija daje informacije o poziciji i orijentaciji objekata, njihovim mehaničkim svojstvima (težina, elastičnost, plastičnost) i fizičkim stanjima (vlažnost, temperatura) [1]. Primjerice, kada robot drži neki objekt, u najučestalijem slučaju samo sa dva prsta, mjesto kontakta je točka, linija ili površina. Kontaktna sila je rezultanta težine objekta i sile kojom robot djeluje na objekt. Ona ima komponentu prosječnu na ravan dodira (normalne, prosječne sile) i komponente u ravnini dodira (tangencijalne sile, tj. sile trenja), pri čemu komponente u ravnini formiraju moment distorzije i/ili klizanja tj. pomicanja.



Senzor sile i momenta ima posebno profiliran elastični element i detektor deformacije. Izlazne informacije s detektora su vrijednosti komponenti kontaktne sile i lokacija djelovanja sile (obično nastale u odnosu na referentnu točku koja leži unutar najmanjeg konveksnog dijela prsta robota ili hvataljke stroja u postrojenju). Prema tome, taktilni senzor ovoga tipa mjeri silu i moment u jednoj točki i na taj način može jedino potvrditi da je objekt prisutan ili ne, odnosno primjenom aktivne percepcije mjeri sile i momente na celoj liniji ili površini dodira. Primjena ovih senzora prvotno dolazi do izražaja kada se manipulira većim objektima i silama [1].

U industrijskom postrojenju, kada se između prstiju robota vrši neka manipulacija objektom, neophodno je detaljno praćenje svih sila (distribucija, pravac, smjer, intenzitet) u točkama kontakta. Prsti/hvataljke onemogućavaju slobodan pogled na objekt; njihova efikasnost dolazi do izražaja prije i poslije operacije kada se mjere veličine u poveznici s oblikom i orijentacijom objekta. Taktilna percepcija pri manipulaciji objektom odnosi se na mogućnost lokacije dodirnih površina, tj. oblika objekta, pomoću detekcije kontaktnih sila i momenata koji su odraz dinamike objekta

tokom manipulacije.

Za realizaciju takvog zahtjeva neophodni su senzori poredani u niz ili matricu. Na osnovi jednog kontakta sa objektom nastaju određene informacije o obliku objekta, pri čemu se uzima u obzir relativni položaj senzora u odnosu na koordinatni početak vezan za šaku robota. Potpune informacije o obliku mogu se dobiti jedino aktivnom percepcijom, tj. novim kontaktima poslije malog pomicanja šake. Prsti šake opremljeni sensorima dodira obično se pomiču neovisno, pa se na taj način detektiraju lokalne sile dodira i određuju karakteristike objekta.

U skladu s prethodnim razmatranjem, taktilna percepcija definira se kao kontinualna detekcija kontaktnih sila pri dodiru na određenoj površini i s definiranom prostornom rezolucijom. Kao rezultat nastaje 2D - slika koja se označava taktilnom ili kontaktnom vizijom. Potpuna informacija o obliku predmeta, tj. 3D - slika, može se dobiti samo aktivnom percepcijom ili procesuiranjem više 2D slika s različitih dodirnih površina. Mjerenje sile u nizu točaka - *taktela* (engl. izvedenica od *tactile* + *element*) – znatno se razlikuje od mjerenja sile u samo jednoj točki.

Za stabilan zahvat i kontrolu klizanja/pomicanja tokom manipulacije objektom neophodan je taktilni senzor koji razlikuje (nezavisno detektira) normalne sile i sile pomicanja. Ovo se može uraditi na dva načina [1]:

- ugradnjom senzora klizanja koji će se pomicati proporcionalno klizanju objekta;
- primjenom programa za usporedbu taktilnih slika dobivenih putem senzorskog niza ili matrice u određenim vremenskim intervalima.

Prvi način je jednostavniji. Osnovni nedostatak drugog načina je u složenosti programa za analizu slike, zbog čega vrijeme potrebno za proračun može biti značajnije veličine - toliko da objekat izmakne prije nego što je analiza završena.

Izlazni signali taktilnog senzora proporcionalni su silama i defleksijama nastalim zbog kontaktnog delovanja, pa se mogu interpretirati kao sljedeća svojstva objekta i uvjeta kontakta [1]:

- prisustvo objekta;
- oblik, lokacija i orijentacija objekta;
- sila (pritisk) na kontaktnoj površini i distribucija sile (pritiska);
- intenzitet, smjer i mjesto djelovanja sile;
- statički i dinamični uvjeti kontaktne površine;
- viskozno - elastična svojstva objekta.

Tehnički zahtjevi koji se odnose na taktilne senzore složeniji su nego kod običnih senzora sile. Razlozi su u karakteru taktilne informacije. U slučaju kad robot zahtijeva, primjerice da taktilni senzor (vanjski dio robota koji služi kao hvataljka) što više sličići ljudskoj koži (distribuiranost na tankoj i fleksibilnoj osnovi), te da struktura na koju se ugrađuje senzor što više ličići na ljudsku šaku, procesiranje taktilne informacije obavi se na nivou senzora. Iz ovoga se izvodi sljedeća lista tehničkih zahtijeva [1]:

- elastičan i izdržljiv površinski sloj senzora;
- prostorna rezolucija 1 - 2 mm za objekte veće od 10 cm, a za manje objekte i delikatnije manipulacije prostorna rezolucija treba biti manja od 1 mm;
- ukupan broj taktela 50 - 200, složenih u matricu 5×10 - 10×20;
- linearne, stabilne i ponovljive statičke karakteristike s malom histerezom za svaki taktel;
- vremenske konstante taktela 1 - 10 ms;

- osjetljivost na silu 0,01 N (oko 1 g), odnosno osjetljivost na pritisak 30 Pa;
- dinamički opseg, tj. odnos između maksimalne i minimalne vrijednosti mjernog opsega treba biti 1000:1, što znači da senzor primjećuje sile do 10 N (oko 1 kg) i pritisak do 3 000 Pa;
- nezavisan elektronski sklop za obradu signala.

Taktilni senzori robotske ruke se tako sastoje od tri osnovna dijela [4]:

1. *umjetna koža*, čija je funkcija da pretvori vanjsku silu u mehanički pomak i da zaštiti konstrukciju od oštećenja i vanjskog utjecaja;
2. *senzora*, kao osjetilnog elementa pridruženog jednom taktelu, koji pretvara mehanički pomak u proporcionalni električni signal. Prema fizičkom principu na kojem se zasniva pretvaranje, taktilni senzori dobivaju ime: otporniki, kapacitivni, induktivni, optoelektronski, piezoelektrični i dr. Gotovo svi načini detekcije pomicanja poznati u tehničkoj praksi isprobani su, sa većim ili manjim uspjehom, u realizaciji taktela;
3. *elektronskog sklopa*, koji obrađuje signale sa senzora i interpretira ih radi dobivanja slike objekta.

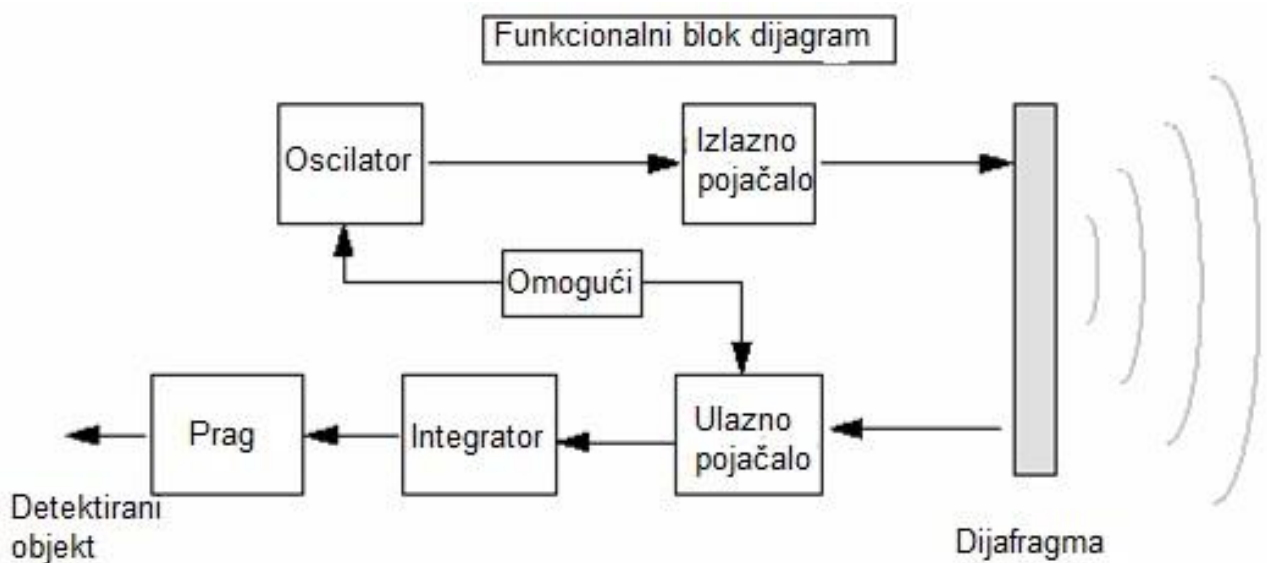
Razvijanje različitih tipova taktilnih senzora pokazuje kako svaki od njih ima određene prednosti i nedostatke u pogledu histereza, dinamičkog opsega, osjetljivosti ili prostorne rezolucije. Na primer, kod kapacitivnog taktilnog senzora promjena kapacitivnosti je mala i teško se mjeri on - line, kod piezoelektričnog postoji jak utjecaj temperature i dr. Koji će se tip senzora odabrati zavisi od konkretnih zahtijeva i uvjeta primjene.

Obrada taktilne slike ima mnogo sličnosti sa procesuiranjem optičke slike. Tipične funkcije jednog programa za obradu su sljedeće [1]:

- pojava (uočavanje slike);
- ekstrakcija karakteristika slike na osnovu aktualne i prethodne slike;
- detekcija klizanja/pomicanja;
- mjerenje sile na cijeloj taktilnoj površini;
- ekstrakcija taktela s maksimalnom vrijednošću sile;
- transfer slike do računala višeg nivoa;
- kontrola slike na video prikazu;
- obrada prekida zbog iznenadnih promjena.

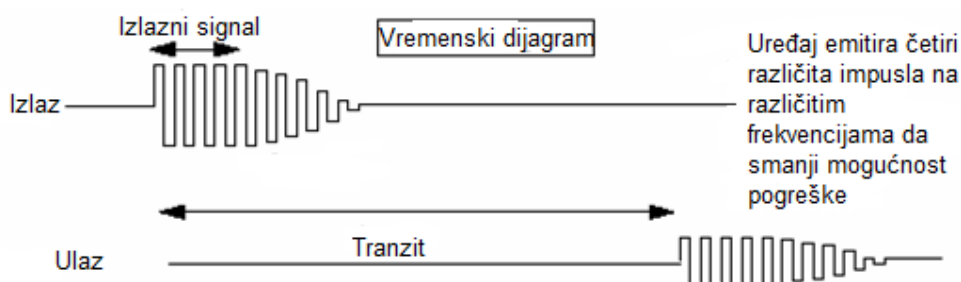
## 6. Ultrazvučna percepcija senzora

Stvaranje slike pomoću ultrazvučnih senzora naziva se ultrazvučnom percepcijom. Poznato je naime, kako u prirodi postoje organizmi kod kojih je vizija svijeta temeljena na ultrazvuku (npr. šišmiši). Pomoću ultrazvuka stvara se slika koja sadrži informacije o poziciji, obliku i orijentaciji predmeta [1]. Stacioniranom robotu ove informacije potrebne su radi prepoznavanja određenog predmeta i navođenja hvataljke, a mobilnom robotu radi prepoznavanja prepreka i navođenja na putu do zadane pozicije, slika 6.1.



Slika 6.1 Princip rada slanja signala od senzora do objekta

Ultrazvučna percepcija temelji se na mjerenju razmaka od robota do predmeta pomoću ultrazvučnih senzora. Realni predmeti su trodimenzionalni, pa se mjerenje mora provesti u svim točkama prostora. Okolina se snima pokretanjem matrice senzora u različitim pravcima, ili se senzori uključuju po nekom redoslijedu radi usmjeravanja ultrazvuka [1]. U prvom slučaju riječ je o mehaničkom, a u drugom o elektronskom skeniranju, slika 6.2.



Slika 6.2 Kretanje signala od ulaza do izlaza

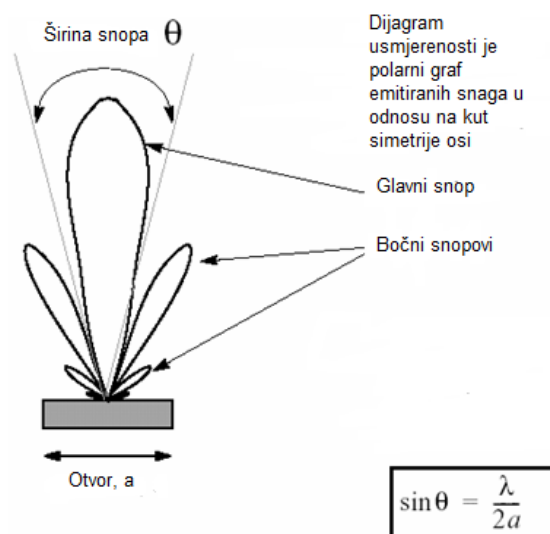
Ultrazvučna percepcija ima sličnu namjenu kao i optička. U uvjetima smanjene vidljivosti stvara bolje rezultate od optičke, ali je od dotične inferiornija zbog slabije rezolucije i problema sa kontrolom ultrazvučnog signala [3].

Razmak  $x$  između robota i predmeta mjeri se metodom TOF, tj. kao vrijeme  $t$  koje je potrebno ultrazvučnom valu da prijeđe put od odašiljača do objekta i natrag do prijemnika:

$$x=ct/2 \tag{6.1}$$

Brzina prostiranja vala  $c$  nije konstantna već ovisi o temperaturi i vlažnosti zraka. Turbulencije, strujanja i temperaturne fluktuacije prijenosnog medija remete kvalitetu slike. Za tipičnu radnu frekvenciju 10 - 200 kHz opseg mjerenja iznosi 0,3 - 10 m, pri čemu je donja vrijednost ograničena dimenzijama senzora, a gornja slabljenjem valova.

Širina snopa ultrazvučnog vala bitna je za rezoluciju mjerenja. Širi snop pokriva veću površinu predmeta, pa je teško izdvojiti ispupčenja i udubljenja na objektu. Uži snop omogućava jasnije izdvajanje detalja. Rasipanje vala i ultrazvučne energije umanjuje se usmjerivačima, ali su tada dimenzije senzora znatno veće. Rezolucija kojom se mjeri vrijeme prijenosa vala od odašiljača i natrag do prijemnika je 0,1  $\mu$ s, čemu odgovara rezolucija mjerenja razmaka od 0,1 mm [1]. Na točnost mjerenja odražava se i međusobni utjecaj reflektiranih valova dvaju susjednih senzora. Zato se emitiranje niza ultrazvučnih senzora provodi s izvjesnom faznom ili vremenskom zadržkom, što omogućava svakom pojedinom senzoru u nizu da prepozna i izdvoji svoj reflektirajući signal, slika 6.3.



Slika 6.3 Kutna preciznost; kretanje signala od ulaza do izlaza

Za prepoznavanje okoline pomoću ultrazvučnih senzora primjenjuje se tehnika slike ili tehnika karakterističnog odaziva.

**Tehnika slike** podrazumijeva da se ultrazvučnim primopredajnicima skenira okolina, i TOF (ranije spomenuti *time of flight*) postupkom mjeri razmak do predmeta. Zbog širenja ultrazvučnog snopa, ova metoda ograničena je na manje razmake od nekoliko metara. Programi za analizu slike prilagođeni su konkretnoj namjeni. Na primjer, mobilnom robotu takvi programi omogućavaju [5]:

- određivanje konture predmeta (prepreka),
- način obilaska (lokalni put duž perimetra prepreke) i
- optimalnu putanju u odnosu na krajnji cilj kretanja.

Koeficijent refleksije ultrazvuka poprilično ovisi od razlike akustičnih impendanci između dva medija:

$$z = \rho c \text{ [kg/m}^2\text{s]} \quad (6.2)$$

Slike dobivanja kombinacijom TOF mjerenja i skeniranja, pri promjeni koeficijenta refleksije na kontaktu između prijenosnog medija i predmeta, primenjuju se u robotici i medicinskoj dijagnostici [1].

**Tehnika karakterističnog odaziva** jest druga tehnika prepoznavanja, koja se temelji na činjenici da svaki objekt reflektira ultrazvuk na specifičan način, koji ovisi od njegova oblika. Za odabranu geometriju primopredajnika i definiranu ultrazvučnu karakteristiku, nastala "jeka" uspoređuje se s referentnim signalima u frekventnoj, ali i u vremenskoj domeni. Uspoređivanjem se mogu prepoznati predmeti određenog oblika, ili istog oblika a različite orijentacije [3].

Kontrolni sustav ultrazvučne vizije temelji na činjenici da se ultrazvučni sustavi vizije, zbog svoje složenosti, povezuju mikrokontrolerom, nakon čega se uključuje odgovarajući odašiljač, koji emitira ultrazvučni impuls sinusnog ili nekog moduliranog oblika. Reflektirani ultrazvučni val s objekta detektira se odgovarajućim prijemnikom, prosljeđuje do pretpojačivača, a zatim preko oklopljenog koaksijalnog kabla do programabilnog pojačivača i A/D pretvarača. Na kraju, signal se zapisuje u memoriju i analizira kada se prikupe signali s ostalih prijemnika.

**Princip mehaničkog skeniranja** zasniva se na sinkroniziranom zaokretanju odašiljača i prijemnika u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini, pomoću dva stupnja motora kojima upravlja

kontroler. Koliki će uglovi zaokretanja biti, ovisi od veličine prepreke, konfiguracije prostora u kojoj se robot kreće i karakteristika primopredajnika.

Visoku prepreku robot treba zaobići, a samo u specijalnim slučajevima prelaziti preko nje. Stoga je za detekciju takvih prepreka dovoljno skeniranje u horizontalnoj ravnini. Tipični vidni kut robota u horizontalnoj ravnini iznosi  $50^\circ$ , a kut širenja emitiranog ultrazvučnog vala je  $10^\circ$ . Kako bi se prekrilo cijelo vidno polje, neophodno je da se primopredaja ultrazvuka omogući u pet različitih pozicija [1]. Pozicioniranje primopredajnika s visokom točnošću provodi se pomoću koračnih motora. Os  $y$  usmjerena je u pravcu robota.

Vrijeme propagacije ultrazvučnog vala od odašiljača/predajnika do prijemnika dobiva se brojanjem takt impulsa, a koordinate prepreke računaju se iz sustava jednadžbi [1]:

$$l = ct/2 \tag{6.3}$$

$$x = l \cdot \sin \Theta = ct/2 \cdot \sin \Theta \tag{6.4}$$

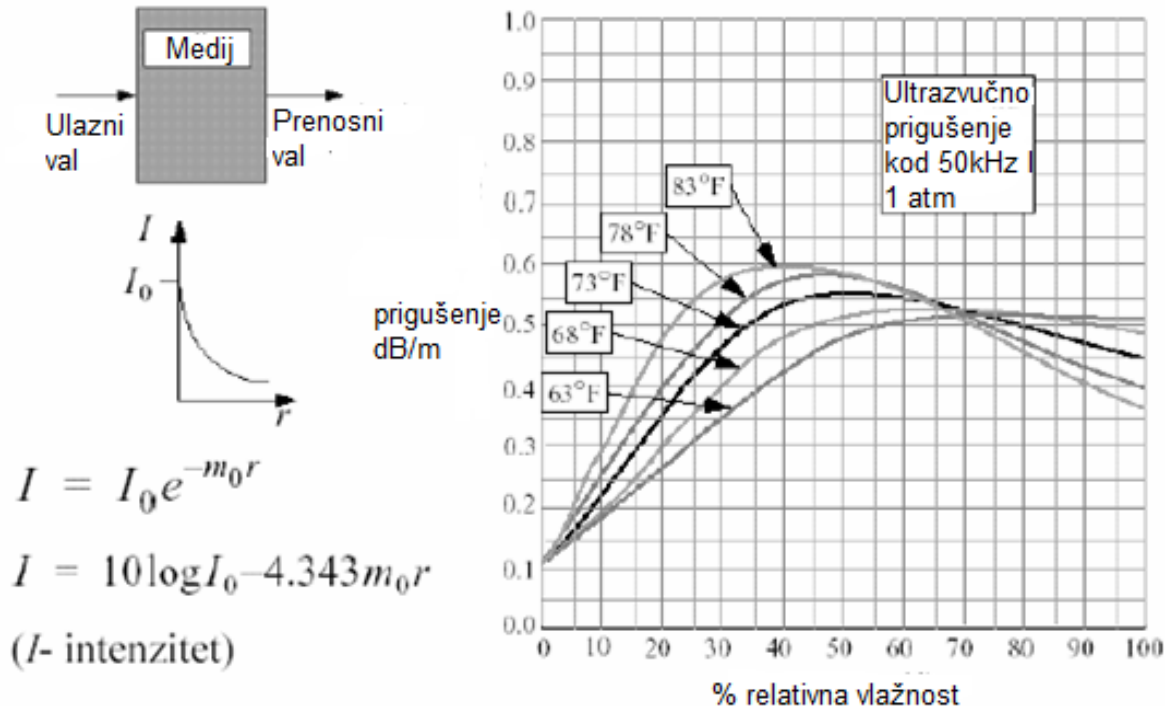
$$y = l \cdot \cos \Theta = ct/2 \cdot \cos \Theta \tag{6.5}$$

gdje su:

$c$  - brzina ultrazvuka u zraku na sobnoj temperaturi,

$l$  - udaljenost prepreke  $i$

$x, y$  - koordinate prepreke u horizontalnoj ravnini, slika 6.4.



Slika 6.4 Maksimalan domet; slabljenje signala je oko 3 dB/ft (10 dB/m, 1ft=0.3048 m); za domet od 6 m intenzitet odašiljanog signala treba biti veći od 60 dB.; kutna preciznost; kretanje signala od ulaza do izlaza

Kada je prepreka niža od visine na kojoj je postavljen primopredajnik, neophodno je skeniranje i u vertikalnoj ravni. Ako je širenje ultrazvučnog vala u vertikalnoj ravni 30°, dovoljne su dvije pozicije za primopredaju ultrazvuka. Neka je os  $z$  usmjerena prema dolje tj. na niže razine; tada se koordinate prepreke u horizontalnoj ravni računaju na sljedeći način [5]:

$$l = ct/2 \tag{6.6}$$

$$r = l \cdot \cos \Phi \tag{6.7}$$

$$x = r \cdot \cos \Theta = (ct/2) \cos \Phi \cdot \cos \Theta \tag{6.8}$$

$$y = r \cdot \sin \Theta = (ct/2) \cos \Phi \cdot \sin \Theta \tag{6.9}$$

gdje su:

$l$  - razmak između primopredajnika i prepreke,

$r$  - razmak primopredajnika i prepreke u horizontalnoj ravni  $xy$ ,

$\Phi$  - kut emitiranja u vertikalnoj ravni između pravaca  $l$  i  $r$ , slika 6.5.



- Određena promjenama brzine zvuka zbog promjena temperature zraka (i vlažnosti također):

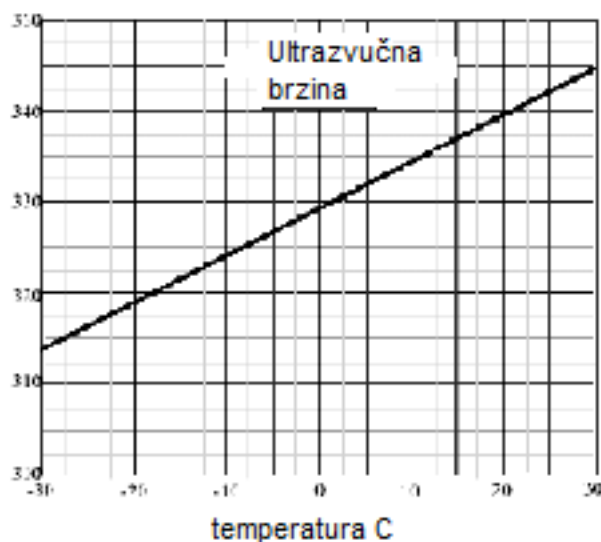
brzina zvuka  
m/s

$$c = 331.4 \cdot \sqrt{T/273} = 331.4 + 0.607\Theta$$

c- brzina zvuka m/s

T- temperatura K

$\Theta$ -temperatura C



Slika 6.5 Točnost mjerenja udaljenosti

Nedostatak mehaničkog skeniranja je relativno duže vrijeme potrebno za kompletiranje cijele slike prostora (oko 10 s). Najvećim dijelom to vrijeme "odlazi" na kontrolu i pozicioniranje motora. Senzorski uređaj, zajedno sa motorima, relativno je velik, pri čemu vibracije motora stvaraju šumove koji utječu na kvalitetu slike. Ovi nedostaci se nadilaze elektronskim skeniranjem.

Za kretanje robota važno je prepoznavanje prepreke, a ne samo određivanje njenog položaja. U tom smislu razvijaju se algoritmi, koji na osnovu karaktera reflektiranog signala određuju vrstu prepreke: ravan zid, kut s oba vidljiva zida, kut s jednim vidljivim zidom, itd.

**Temelj elektronskog skeniranja** sastoji se od kombiniranog niza (ili matrice) odašiljača, koji se ultrazvučnim valovima, u jednom određenom pravcu, suprostavljaju i formiraju jedinstven smjer širenja [1]. Vremensko kašnjenje u reakciji odašiljača/predajnika mora odgovarati razlici puteva pri širenju parcijalnih valova. Na primjer, za jednodimenzionalno skeniranje (skeniranje u jednoj ravnini), primjenjuje se niz odašiljača/predajnika na međusobnom razmaku  $d$ . Kada se odašiljači/predajnici sukcesivno uključuju sa kašnjenjem od,

$$r = l \cdot \sin \alpha / c \quad (6.10)$$

u odnosu na prethodni, nastaje direktniji valni napredak koji se širi pod kutom  $\alpha$  (u odnosu na niz senzora). Uključivanje posljednjeg odašiljača/predajnika u nizu je

$$r = l \cdot \sin \alpha / c \quad (6.11)$$

i

$$r_N = (N - 1) \cdot d \sin \alpha / c = (N - 1)r \quad (6.12)$$

sekundi nakon prvog. Sa porastom vremena kašnjenja prilikom pokretanja odašiljača/predajnika, jedinstvena valna fronta mijenja smjer prostiranja u opsegu  $\pm 45^\circ$  u odnosu na os simetrije. Vrijeme  $\tau$  je neznatno; svega nekoliko nanosekundi te se mora kontrolirati pomoću mikroprocesora za svaki odašiljač/predajnik. U narednom ciklusu senzori rade kao prijemnici i detektiraju reflektirajući signal s objekta. Kada je objekat na osi simetrije i na velikoj udaljenosti, jeka se detektira istovremeno u svim prijemnicima. Međutim, kada je objekt izvan ose pod kutom  $\alpha$ , tada bez obzira na udaljenost, jeka dolazi do svakog prijemnika u različito vrijeme [1]. Mikroprocesor stoga postavlja odgovarajuće vrijednosti u linije za kašnjenje, pa se u izlaznom modulu formira jedinstveni signal jeka/odraza, kao suma parcijalnih signala.

Nedostaci elektronskog skeniranja su [3]:

- greške pri postavljanju vrijednosti kašnjenja,
- nepodudarnosti tehničkih karakteristika primopredajnika,
- greške pri ugradnji (pozicioniranju) predajnika u niz,
- slaba rezolucija i
- relativno velika obrada signala.

Zahvaljujući eleganciji principa elektronskog skeniranja i tehnološkom napretku izrade, ovaj tip ultrazvučne percepcije ima veliku perspektivu.

## 7. Zaključak

Zapažanje procesa u industriji, te njihova mjerenja imaju značajno mjesto u procesu automatizacije, jer pružaju kvantitativne informacije o procesu, odnosno, objektu kojim se upravlja.

Mjerne informacije najčešće imaju formu električnog signala. Razlog za pretvaranje mjerne informacije u formu električnog signala je što su pojačanje, obrada, prijenos i očitavanje električnog signala usavršeni, uz istovremeno postizanje visoke metrološke kvalitete statičkih i dinamičkih karakteristika.

Mjerenje mehaničkih, kemijskih, bioloških i procesnih veličina provodi se pomoću raznih *mjernih pretvarača*; jednom riječju - senzora. Njihova primjena ustalila se razvojem materijala i tehnologija, integracijom komponenti i primjenom mikromehanike i mikroelektronike.

Informacije koje se dobivaju putem senzora omogućavaju generiranje korektivnih postupaka kojima će se rezultati procesa držati u granicama dozvoljenih odstupanja.

U završnom radu se željelo prikazati da senzor u industriji predstavlja uređaj, koji pretvara mjerenu fizičku veličinu uglavnom u električni signal.

Također se potvrdilo uvjerenje da se senzori najčešće odlikuju malim dimenzijama, izuzetnim tehničkim karakteristikama i sposobnošću za obradu signala. Zahvaljujući postavljenim hipotezama, u radu je na nekoliko primjera prikazano kako se senzori koriste za provjeru raznih veličina u industriji, procjenu stanja rada i nadzor procesa, te kako ih je moguće koristiti prije, u toku i poslije procesnih operacija.



## IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, MIRAN VINKO (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom SENZORI U PROIZVODNJI (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Miran Vinko

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, MIRAN VINKO (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom SENZORI U PROIZVODNJI (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Miran Vinko

(vlastoručni potpis)

## 8. Literatura

1. Popović, Mladen. 2004. Senzori i mjerenja. Sarajevo. [1]
2. Tatalović, Vedran. 2015. diplomski rad - UPRAVLJANJE MOBILNIM ROBOTOM SA DIFERENCIJALNIM POGONOM I ULTRAZVUČNIM SENZORIMA UDALJENOSTI [2]
3. Kunica, Zoran. Senzori sile i momenta <http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/pms/ft.pdf> [3]
4. PRIMJENA ROBOTA U INDUSTRIJI [4]  
<http://automatizacija1.etf.rs/poglavljja/Robotika%2010.htm>
5. power point prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. [5]
6. TSRB MEHATRONIKA  
[http://www.tsrb.hr/meha/index.php?option=com\\_content&task=view&id=51&Itemid=1](http://www.tsrb.hr/meha/index.php?option=com_content&task=view&id=51&Itemid=1) [6]
7. AUTOMATIKA - BAZA ZNANJA <http://www.automatika.rs/baza-znanja/senzori/kapacitivni-senzor.html> [7]  
<http://www.automatika.rs/baza-znanja/senzori/optoelektronski-senzor.html> [7.1]
8. INDUKTIVNI SENZORI [http://www.ifm.com/ifmhr/web/pmain/010\\_010\\_030.html](http://www.ifm.com/ifmhr/web/pmain/010_010_030.html) [8]
9. PP PREZENTACIJA - SENZORI <http://www.slideshare.net/tehnologije/senzori> [9]
10. INDUKTIVNI SENZORI - OPIS RADA  
<http://www.sah.rs/senzori/InduktivniSenzoriOpis.html> [10]

## 8.1 Popis slika

*Slika 2.1 Kapacitivni senzori; izvor*

*<http://www.tsrh.hr/meha/images/stories/senzori/image009.jpg> str 4*

*Slika 2.2 Induktivni senzor blizine; izvor*

*<http://www.tsrh.hr/meha/images/stories/senzori/image005.jpg> str 5*

*Slika 2.3 Optički senzor; izvor <http://www.tsrh.hr/meha/images/stories/senzori/image012.jpg>  
str 6*

*Slika 3.1 Reed switch; izvor <http://www.tsrh.hr/meha/images/stories/senzori/image002.jpg>  
str 8*

*Slika 3.2 Induktivni senzor; izvor <http://image.slidesharecdn.com/senzori-150102081334-conversion-gate01/95/senzori-8-638.jpg?cb=1420186465> str 9*

*Slika 3.3 Kapacitivni senzor; izvor <http://image.slidesharecdn.com/senzori-150102081334-conversion-gate01/95/senzori-9-638.jpg?cb=1420186465> str 11*

*Slika 3.4 Ultrazvučni senzor; izvor <http://image.slidesharecdn.com/senzori-150102081334-conversion-gate01/95/senzori-10-638.jpg?cb=1420186465> str 13*

*Slika 3.5 Optoelektronski senzor; izvor*

*<http://www.tsrh.hr/meha/images/stories/senzori/image013.jpg> str 17*

*Slika 4.1 Primjena robota u industriji; izvor*

*<http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Robotika%202.htm> str 20*

*Slika 4.2 Senzor sile/momenta u zglobovima robota; izvor Senzori u robotici, power point prez. str 23*

*Slika 4.3 Prikaz sile i momenta kroz različite modele manipulacijskog robota; izvor <http://automatizacija1.etf.rs/poglavlja/Robotika%202.htm> str 24*

*Slika 6.1 Princip rada slanja signala od senzora do objekta; izvor power p. prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. str 28*

*Slika 6.2 Kretanje signala od ulaza do izlaza; izvor power p. prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. str 28*

*Slika 6.3 Kutna preciznost; kretanje signala od ulaza do izlaza; izvor power p. prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. str 29*

*Slika 6.4 Maksimalan domet; ; izvor power p. prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. str 32*

*Slika 6.5 Točnost mjerenja udaljenosti; izvor power p. prezentacija - SENZORI U (MOBILNOJ) ROBOTICI, autor Ivan Petrović; 2006. str 33*